



# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 20 565.9

**Anmeldetag:** 7. Mai 2003

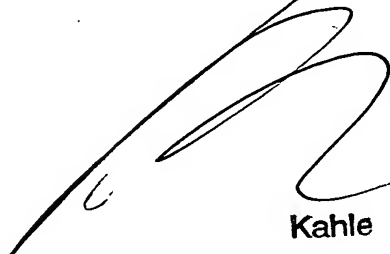
**Anmelder/Inhaber:** i f m electronic gmbH, 45127 Essen/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Bestimmung der Position eines  
Beeinflussungselements mit einem induktiven  
Positionssensor

**IPC:** G 01 B, G 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag



Kahle

Gesthuysen, von Rohr & Eggert

03.0566.7.wa

Essen, den 7. Mai 2003

**P a t e n t a n m e l d u n g**

der Firma

i f m electronic gmbh

Teichstraße 4

45127 Essen

mit der Bezeichnung

**Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor**

## **Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor, mit mehreren linear oder kreisförmig hintereinander angeordneten Spulen, mit einem Kondensator, mit einem Verstärkerelement, mit mindestens einem Umschalter und mit einer Auswerteeinheit, wobei je eine Spule und der Kondensator einen Schwingkreis bilden und der Schwingkreis und das Verstärkerelement einen Oszillator bilden, gemäß dem Hauptpatent, dem Patent 101 30 572.

Positionssensoren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements sind in einer Vielzahl von Ausführungsformen und für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten bekannt. Derartige Positionssensoren können zum einen danach unterteilt werden, ob es sich bei der Bewegung des zu überwachenden Beeinflussungselements in erster Linie um eine lineare Bewegung handelt, somit durch den Positionssensoren eine Strecke erfaßt werden soll, oder ob es sich bei der Bewegung des Beeinflussungselements in erster Linie um eine kreisförmige Bewegung handelt, so daß durch den Positionssensor der Drehwinkel des Beeinflussungselements überwacht bzw. festgestellt wird. Positionssensoren, die eine Strecke erfassen, werden häufig als Wegsensoren bezeichnet, während Positionssensoren, die einen Drehwinkel erfassen, häufig als Drehwinkelgeber bezeichnet werden.

Außerdem können Positionssensoren nach ihrem physikalischen Funktionsprinzip unterteilt werden. Bekannt sind zum Beispiel induktive, kapazitive oder optoelektronische Positionssensoren.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor, insbesondere mit einem induktiver Wegsensor, mit dem eine lineare Bewegung eines Beeinflussungselements, d.h. eine Strecke, gemessen werden kann. Derartige bekannte induktive Wegsensoren weisen mehrere Spulen auf, von denen mindestens eine Spule als Primärspule und mindestens eine andere Spule als Sekundärspule ausgebildet sind. Die Spulen sind dabei zumeist nach

dem Transformatorprinzip aufgebaut, so daß einer Primärspule seitlich benachbart jeweils eine Sekundärspule angeordnet ist. Die induktive Kopplung zwischen der mittigen Primärspule und den beiden seitlich angeordneten Sekundärspulen wird dabei durch die Position eines im Bereich der Zylinderachse des zylindrischen Spulensystems angeordneten – beispielsweise als magnetisch leitender Stab ausgebildeten – Beeinflussungselements verändert. Derartige induktive Wegsensoren sind aus der DE 43 37 208 A1 und der DE 196 32 211 A1 bekannt.

Die DE 31 02 439 A1 offenbart einen induktiven Wegsensor mit zwei voneinander weitgehend entkoppelten magnetischen Kreisen, mit zwei Luftspulen, wobei in die erste Luftspule ein Kern eintauchen kann, dessen jeweils momentane Eintauchtiefe induktiv abgetastet wird und in der zweiten Luftspule ein zweiter Kern fest angeordnet ist. Eine Bestimmung der Position des beweglichen Kerns erfolgt dabei durch eine Messung des Induktivitätsverhältnisses der ersten Luftspule zur zweiten Spule.

Aus der DE 42 13 866 A1 ist ein induktiver Drehsensor bekannt, bei dem mehrere Spulen so nebeneinander auf einer Grundplatte angeordnet sind, daß von mehreren Spulen gleichzeitig mehrere Meßwerte gewonnen werden, wodurch eine relativ genaue Extrapolation der Rotorlage möglich ist. Die einzelnen Spulen sind dabei jeweils mit einer Oszillatorstufe fest verbunden, wobei die Ausgänge der Oszillatorstufen parallel einer Auswerteeinheit zugeführt werden. Die Positionserfassung des Beeinflussungselements erfolgt dabei mittels einer Musteranalyse mehrerer gleichzeitig gemessener Frequenzwerte. Diese Art der Auswertung ist jedoch aufgrund der großen Informationsmenge für schnelle Anwendungen nur bedingt einsetzbar.

Nachteilig ist bei den bekannten induktiven Wegsensoren, daß zum einen die Baulänge des Wegsensors deutlich länger als die maximal überwachbare Strecke des Beeinflussungselements ist, so daß bei einer vorgegebenen zu überwachenden Weglänge ein bis zu 100 % längerer Wegsensor erforderlich ist. Dies ist insbesondere dort, wo nur ein begrenzter Einbauraum zur Verfügung steht, unerwünscht. Zum anderen ist bei den bekannten induktiven Wegsensoren die erreichbare Meßgenauigkeit häufig nicht ausreichend oder sie kann nur durch erhöhten schaltungstechnischen Aufwand verbessert werden.

Dieses Problem ist bei einem induktiven Wegsensor gemäß dem Hauptpatent dadurch gelöst, daß nacheinander die einzelnen Spulen bzw. die einzelnen Oszillatoren durch den Umschalter angewählt werden, indem die einzelnen Spulen nacheinander mit dem Kondensator verbunden werden und daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zur jeweiligen Spule mißt.

Durch die Verwendung mehrerer hintereinander angeordneter Spulen, wobei die Spulen in Richtung der festzustellenden Position des Beeinflussungselements hintereinander angeordnet sind und wobei die Auswerteeinheit durch den Umschalter nacheinander eine Veränderung der Impedanz jeder Spule bzw. jedes Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements mißt, ist ein induktiver Wegsensor realisierbar, dessen Baulänge nur geringfügig größer als die Gesamtlänge der zu überwachenden Strecke ist.

Bei dem Verfahren gemäß dem Hauptpatent kann die Position eines Beeinflussungselements mittels eines induktiven Positionssensors dadurch sehr präzise und zuverlässig erfaßt werden, daß das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Anwählen je einer Spule bzw. eines Oszillators durch den Umschalter, indem die einzelnen Spulen nacheinander mit dem Kondensator verbunden werden,
- Messen der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises durch die Auswerteeinheit in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zur Spule,

wobei die vorgenannten Schritte so oft wiederholt werden, bis durch den Umschalter alle Spulen nacheinander angewählt, d. h. nacheinander mit dem Kondensator verbunden worden sind und die Impedanz aller Spulen durch die Auswerteeinheit gemessen worden ist.

Das bekannte Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß es bei einer gewünschten hohen Genauigkeit eine unter Umständen nicht ausreichenden Meßgeschwindigkeit bzw. Reaktionszeit aufweist. Der vorliegenden Weiterentwicklung des Verfahrens des Hauptpatents liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor anzugeben, welches auch bei einer hohen Meßgenauigkeit eine hohe Meßgeschwindigkeit aufweist.

Diese Aufgabe ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, daß im weiteren Betrieb zunächst nur die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen wird, die zuvor als diejenige Spule ermittelt worden ist, der das Beeinflussungselement am nächsten ist und erst dann die Impedanz mindestens einer weiteren Spule bzw. eines weiteren Schwingkreises gemessen wird, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der zuvor ermittelten Spule verändert.

Erfindungsgemäß ist somit erkannt worden, daß im Betrieb – nachdem zu Beginn die aktuelle Position des Beeinflussungselements bestimmt worden ist – nicht dauernd die Impedanz sämtlicher Spulen bzw. sämtlicher Schwingkreise gemessen werden muß. Vielmehr ist es ausreichend, wenn zunächst nur die Impedanz der Spule gemessen wird, die zuvor als diejenige Spule ermittelt worden ist, der das Beeinflussungselement am nächsten ist. Sobald das Beeinflussungselement seine Position verändert, wird dies dadurch erkannt, daß sich die Impedanz der aktuell durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des angewählten Schwingkreises verändert. Erst wenn dies der Fall ist, ist es erforderlich, die veränderte Position des beeinflussten Elements neu zu bestimmen.

Erfindungsgemäß ist somit dadurch eine wesentliche Verkürzung der Meßzeit realisiert worden, daß im Betrieb zunächst nur die Impedanz einer Spule bzw. eines Schwingkreises gemessen bzw. überwacht wird und nicht ständig die Impedanz sämtlicher Spulen gemessen wird. Erst wenn dies erforderlich ist, wird die Impedanz einer zweiten Spule bzw. eines zweiten Schwingkreises zur Bestimmung der Position des Beeinflussungselements gemessen. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird somit auf die Messung der Impedanz der Spulen bzw. der Schwingkreise verzichtet, die aktuell keine neuen Infor-

mationen über die Position des Beeinflussungselements beitragen. Hierdurch kann eine Reduzierung der Meßzeit erreicht werden, die proportional zur Anzahl der verwendeten Spulen ist, d. h. bei insgesamt acht Spulen läßt sich somit die Meßzeit im Betrieb auf ca.  $1/8$  der ursprünglichen Meßzeit reduzieren.

5

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird dann, wenn sich der gemessene Wert der Impedanz der eingangs ermittelten Spule bzw. des Schwingkreises verändert, die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen, die der zuvor ermittelten Spule räumlich benachbart angeordnet ist. Hierbei ist erkannt worden, daß sich die Position des Beeinflussungselements nicht sprunghaft ändert. Dadurch ist es ausreichend, daß in dem nächsten Schritt zunächst nur die Impedanz der benachbarten Spule bzw. des benachbarten Schwingkreises, nicht jedoch zwingend die Impedanz sämtlicher Spulen neu gemessen werden muß. Nur wenn dies erforderlich ist, wird anschließend die Impedanz einer weiteren – wiederum benachbarten – Spule gemessen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einem Eichvorgang das Beeinflussungselement über die maximal meßbare Länge des induktiven Weggebers verfahren und werden die während des Eichvorgangs erhaltenen Werte der einzelnen Spulen bzw. der einzelnen Schwingkreise als Korrektur- bzw. Referenzwerte in der Auswertereinheit oder in einen zusätzlichen Speicher gespeichert. Hierdurch ist es zunächst möglich, unterschiedliche Beeinflussungselemente mit unterschiedlichen Abmessungen oder aus unterschiedlichen Materialien zu verwenden. Auch können durch einen solchen Eichvorgang Bauteiltoleranzen, insbesondere geringfügig unterschiedliche Induktivitäten der Spulen, oder Veränderungen aufgrund von Temperaturschwanken kompensiert werden.

Aufgrund des Eichvorgangs ist außerdem die Position des Beeinflussungselements zu Beginn des Betriebs, d. h. nach dem Anwählen der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise und der Messung der Impedanzen, besonders sicher und genau ermittelbar. Insbesondere wenn Eingangs des Verfahrens ein derartiger Eichvorgang durchgeführt wird, kann aufgrund der laufend durchgeführten Messung der Impedanz der "ausgewählten" Spule sogar eine Aussage darüber gemacht werden, in welche Richtung sich das Beeinflussungselement bewegt.



Dies ist aufgrund der sich linear mit der Wegänderung des Beeinflussungselements verändernden Frequenz und der durch den Eichvorgang bekannten "Grundfrequenz" der Spule möglich.

5      Zuvor ist ausgeführt worden, daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Impedanz einer jeden Spule bzw. eines jeden Schwingkreises mißt. Bevorzugt wird dabei von der Auswerteeinheit eine Veränderung der Frequenz einer jeden Spule bzw. eines jeden Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements gemessen. Daneben ist es jedoch auch möglich,  
10      daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Induktivität der Spule bzw. des Schwingkreises oder eine Veränderung der Amplitude des Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements mißt.

15      Wird gemäß der bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung durch die Auswerteeinheit die Veränderung der Frequenz gemessen, so wird in der Regel die Frequenzänderung des Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements gemessen. Zumindest theoretisch ist es jedoch auch möglich, daß die Veränderung der Frequenz allein der Spule gemessen wird, insofern, als jede reale Spule neben der in erster Linie charakteristischen  
20      Induktivität auch einen ohmschen Widerstand und mehrere parasitäre Kapazitäten aufweist. Somit weist eine reale Spule eine Eigenresonanzfrequenz auf, die durch die Induktivität und die parasitären Kapazitäten der Spule bestimmt ist. In der Regel wird jedoch die Veränderung der Frequenz des Schwingkreises, bestehend aus einer Spule und dem Kondensator, von der Auswerteeinheit  
25      gemessen.

Die Beeinflussung der Spule bzw. des Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements beruht theoretisch auf drei unterschiedlichen physikalischen Effekten, die sich je nachdem, welche Art von  
30      Beeinflussungselement verwendet wird, unterschiedlich stark auswirken.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird bevorzugt ausgewertet eine Beeinflussung der Impedanz des Schwingkreises durch das Beeinflussungselement aufgrund des Transformatorprinzips. Der hier als Transformatorprinzip  
35      bezeichnete physikalische Effekt beruht darauf, daß die Spule des Schwingkreises ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt, das in einem benach-

barten Körper – dem Beeinflussungselement – zunächst nach dem Induktionsgesetz eine Spannung induziert. Bei Verwendung eines Beeinflussungselements aus einem Material mit einer hinreichend großen Leitfähigkeit führt die induzierte Spannung zu einem Stromfluß im Beeinflussungselement. Dieser aus der im Beeinflussungselement induzierten "sekundären" Spannung resultierende Strom hat seinerseits ein elektromagnetisches Wechselfeld zur Folge, das dem "primären" elektromagnetischen Wechselfeld, d.h. dem durch die Spule erzeugten elektromagnetischen Wechselfeld, entgegengerichtet ist. Dieses entgegengerichtete "sekundäre" elektromagnetische Wechselfeld bewirkt eine Verringerung der Induktivität und somit eine Vergrößerung der Frequenz des Schwingkreises. Bevorzugt wird nun diese Frequenzerhöhung in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements durch die Auswerteeinheit gemessen und ausgewertet.

Der zweite physikalische Effekt, der bei der Beeinflussung der Impedanz des Schwingkreises durch das Beeinflussungselement auftritt, ist die Beeinflussung des magnetischen Widerstandes des magnetischen Kreises. Befindet sich kein Beeinflussungselement in der Nähe der Spule, so ist der magnetische Widerstand allein durch die Luft bestimmt und somit sehr groß. Befindet sich ein Beeinflussungselement aus einem vorzugsweise ferromagnetischen Material in der Nähe der Spule, so wird dadurch der elektromagnetische Widerstand des magnetischen Kreises reduziert, was an einer Reduzierung der Frequenz des Schwingkreises festgestellt werden kann.

Der dritte physikalische Effekt, der bei der Beeinflussung der Impedanz des Schwingkreises durch ein Beeinflussungselement auftritt, ist die "echte" Bedämpfung des Schwingkreises, indem dem elektromagnetischen Wechselfeld des Schwingkreises aufgrund von Wirbelstromverlusten im Beeinflussungselement Energie entzogen wird. Dieser hier als "echter" Bedämpfung bezeichnete physikalische Effekt wird in der Regel bei induktiven Näherungsschaltern ausgewertet.

Da theoretisch alle drei Effekte wirksam sind, muß dafür gesorgt werden, daß die beiden Effekte, die zur Auswertung nicht herangezogen werden sollen, vernachlässigbar klein sind gegenüber dem Effekt, der zur Auswertung herangezogen werden soll.

Wird zur Auswertung der Transformatoreffekt herangezogen, wie vorzugsweise vorgesehen, dann darf dieser Transformatoreffekt nicht konterkariert werden dadurch, daß durch ferromagnetisches Material der Widerstand des magnetischen Kreises und damit die Frequenz reduziert wird. Vorzugsweise wird die Beeinflussung aufgrund des Transformatorprinzips ausgewertet, weil dabei durch eine geeignete Wahl der Frequenz sichergestellt werden kann, daß die Meßergebnisse im wesentlichen unabhängig von dem verwendeten Material des Beeinflussungselements sind. Der ferromagnetische Einfluß kann dann unberücksichtigt bleiben. Die dafür zu wählende Frequenz des unbeeinflussten Schwingkreises liegt vorzugsweise oberhalb von 500 kHz, beispielsweise zwischen 500 kHz und 10 MHz.

Wird gemäß der bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung die Veränderung der Frequenz des Schwingkreises durch das Beeinflussungselement gemessen, so sollte der induktive Positionssensor mindestens einen Zähler aufweisen, der einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit der Auswerteeinheit verbunden ist.

Gemäß einer ersten alternativen Ausgestaltung zählt dann der Zähler die Anzahl der Schwingungen so lange, bis ein voreingestellter Wert erreicht ist und mißt die Auswerteeinheit die Zeit, die vergeht, bis der Zähler diesen voreingestellten Wert erreicht hat. Besonders vorteilhaft ist hierbei, daß eine Zeitmessung mit der Auswerteeinheit, beispielsweise einem Mikroprozessor, sehr einfach realisiert werden kann. Wird nach dem Transformatorprinzip gearbeitet, so daß die Anwesenheit des Beeinflussungselements vor der angewählten Spule die Frequenz des Schwingkreises erhöht, so wird dies bei der zuvor beschriebenen Art der Auswertung dadurch festgestellt, daß der Zähler den voreingestellten Wert schneller erreicht, verglichen mit dem Zustand, daß die Spule und damit der Schwingkreis von dem Beeinflussungselement unbeeinflusst ist. Die Auswerteeinheit mißt somit eine im Vergleich zum unbeeinflussten Zustand kürzere Zeit.

Bei einer alternativen Ausgestaltung zählt der Zähler die Anzahl der Schwingungen des Oszillators während einer vorgegebenen Zeitdauer und wird diese Anzahl von der Auswerteeinheit ausgewertet.

Bevorzugt wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements, beispielsweise eines Kolbens, mit einem induktiven Positionssensor durchgeführt, der zwei Zähler aufweist. Der erste Zähler ist dabei einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit der Auswerteeinheit und der zweite Zähler einerseits mit dem ersten Zähler und andererseits mit der Auswerteeinheit und mit dem Umschalter verbunden.

Der erste Zähler, der die Anzahl der Schwingungen des gerade angewählten Oszillators zählt, gibt beim Erreichen eines voreingestellten Wertes einen Impuls an den zweiten Zähler ab, wobei der zweite Zähler Adressen erzeugt, die bei eins beginnend jeweils um eins erhöht werden, wenn der zweite Zähler den Impuls vom ersten Zähler erhält. Die Adresse, die vorzugsweise im Dual-Code erzeugt wird, bewirkt zunächst ein Weiterschalten des Umschalters. Darüber hinaus erhält die Auswerteeinheit aus der vom zweiten Zähler erzeugten Adresse zum einen die Information, welche Spule gerade durch den Umschalter angewählt ist, zum anderen auch die Information, wie lange die jeweilige Adresse anliegt, und damit die Information, wie lange der erste Zähler gebraucht hat, um den voreingestellten Wert beim Zählen der Schwingungen des Oszillators zu erreichen. Diese Zeitdauer ist, wie zuvor bereits ausgeführt, ein Maß für die Beeinflussung der Frequenz des Schwingkreises und damit ein Maß für die Position des Beeinflussungselements.

Besonders einfach kann die Zeitdauer, die die jeweilige Adresse anliegt, dadurch von der Auswerteeinheit ermittelt werden, daß die Auswerteeinheit die Zeit zwischen den High/Low-Flanken am niederwertigsten Ausgang des zweiten Zählers mißt. Die im Dual-Code anliegende Adresse des zweiten Zählers wird somit als Torzeit für die Auswerteeinheit benutzt.

Im einzelnen gibt es nun eine Vielzahl von Möglichkeiten, das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor auszugestalten und weiterzubilden. Solche Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüchen sowie aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipsskizze eines Schaltungsaufbaus eines induktiven Positionssensors zur Verwendung bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und

5 Fig. 2 ein Ablaufschema eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Fig. 1 zeigt schematisch den Schaltungsaufbau eines induktiven Wegsensors 1 zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements 2 gemäß dem Hauptpatent, der sich besonders gut zur Durchführung des Verfahrens eignet. Das Beeinflussungselement 2 kann beispielsweise am Ende einer Stange 3 angeordnet sein. An Stelle eines induktiven Wegsensors 1 kann das Verfahren jedoch auch mit einem induktiven Drehwinkelgeber durchgeführt werden.

15 Bei der prinzipiellen Darstellung gemäß Fig. 1 sind nur die wesentlichen Bauteile dargestellt, nicht jedoch sämtliche elektrischen bzw. elektronischen oder mechanischen Bauteile des induktiven Wegsensors 1, so daß der Wegsensor 1 nur unvollständig dargestellt ist; insbesondere ist auch kein den induktiven Wegsensor 1 aufnehmendes Gehäuse dargestellt. Im übrigen wird bezüglich spezieller Ausführungsformen eines geeigneten induktiven Wegsensors 1 ausdrücklich auf den Offenbarungsgehalt des Hauptpatents verwiesen.

25 Der Fig. 1 kann entnommen werden, daß der induktive Wegsensor 1 mehrere hintereinander angeordnete Spulen 4 – im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 insgesamt acht Spulen 4 – einen Kondensator 5, ein Verstärkerelement 6, mindestens einen Umschalter 7 und eine Auswerteeinheit 8 aufweist. Die Spulen 4 sind in Richtung der festzustellenden Position s des Beeinflussungselements 2 hintereinander angeordnet. Ebenso können die Spulen jedoch auch kreisförmig hintereinander angeordnet werden, wobei dann auch das Beeinflussungselement eine kreisförmige Bewegung ausführt und somit der Drehwinkel des Beeinflussungselements gemessen werden kann.

35 Als Umschalter 7 wird bei insgesamt acht Spulen 4 ein Multiplexer 1 aus 8 verwendet. Durch den Umschalter 7 wird jeweils eine Spule 4 mit dem Kon-

densator 5 verbunden, so daß die durch den Umschalter 7 angewählte Spule 4 und der Kondensator 5 einen Schwingkreis bilden. Zusammen mit dem Verstärkerelement 6 bildet der Schwingkreis dann einen Oszillator 9 mit einer durch die Induktivität der Spule 4 und die Kapazität des Kondensators 5 bestimmten Resonanzfrequenz. Ausgewertet wird nun nacheinander die Veränderung der Frequenz des Oszillators 9 bzw. des Schwingkreises für jede Spule 4 in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements 2.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wird von der Auswerteeinheit 8 eine Veränderung der Frequenz des Oszillators 9 gemessen, ebenso kann jedoch auch eine Veränderung der Amplitude des Oszillators 9 in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements 2 ausgewertet werden.

Die bevorzugte Auswertung einer Frequenzänderung erfolgt nun dadurch, daß der induktive Wegsensor 1 einen ersten Zähler 10 und einen zweiten Zähler 11 aufweist. Der erste Zähler 10 ist einerseits mit dem Oszillator 9 und andererseits über eine einstellbare Widerstandsbrücke 12 mit dem zweiten Zähler 11 verbunden. Der zweite Zähler 11 ist einerseits, wie zuvor ausgeführt, mit dem ersten Zähler 10, andererseits sowohl mit dem Umschalter 7 als auch mit der Auswerteeinheit 8 verbunden.

Der erste Zähler 10 zählt die Anzahl der Schwingungen des Oszillators 9 bis zu einem über die Widerstandsbrücke 12 einstellbaren Wert. Hat der erste Zähler 10 diesen voreingestellten Wert erreicht, so gibt er einen Impuls an den zweiten Zähler 11 ab. Der zweite Zähler 11 erzeugt eine bei eins beginnende Adresse, die jeweils um eins erhöht wird, wenn der zweite Zähler 11 den Impuls vom ersten Zähler 10 erhält. Dadurch, daß der zweite Zähler 11 mit dem Umschalter 7 verbunden ist, bewirkt eine Änderung der Adresse durch den zweiten Zähler 11 jeweils auch ein Weiterschalten des Umschalters 7, wodurch sichergestellt ist, daß jeweils genau dann mit der Messung der nächsten Spule 4 begonnen wird, wenn mit der vorherigen Spule 4 die voreingestellte Anzahl von Schwingungen des Oszillators 9 am ersten Zähler 10 erreicht worden ist.

Der zweite Zähler 11 weist insgesamt vier Ausgänge 13 auf, so daß durch den zweiten Zähler 11 insgesamt 16 Adressen im Dual-Code dargestellt werden

können. Die Auswerteeinheit 8, die ebenfalls mit dem zweiten Zähler 11 verbunden ist, erhält aus der aktuellen Adresse zum einen die Information, welche Spule 4 gerade durch den Umschalter 7 angewählt ist, mißt zum anderen die Zeitdauer, die die jeweilige Adresse anliegt. Hierzu wird die Zeit zwischen den High/Low-Flanken am niederwertigsten Ausgang 13 des zweiten Zählers 11 gemessen. Diese Zeit entspricht der Zeit, die der erste Zähler 10 braucht, bis er den voreingestellten Wert erreicht hat.

Bei Beeinflussung der Frequenz des Oszillators 9 durch eine Annäherung des Beeinflussungselements 2 an die gerade durch den Umschalter 7 angewählte Spule 4 und bei Auswertung des Transformatoreffekts erfolgt eine Vergrößerung der Frequenz des aus der gerade angewählten Spule 4 und dem Kondensator 5 bestehenden Schwingkreises bzw. der Frequenz des Oszillators 9, so daß der Zähler 10 den voreingestellten Wert innerhalb einer kürzeren Zeit erreicht, jeweils verglichen mit dem Zustand, in dem das Beeinflussungselement 2 so weit von der angewählten Spule 4 entfernt ist, daß es diese nicht beeinflusst.

Bei einer Resonanzfrequenz des unbeeinflussten, durch eine Spule 4 und den Kondensator 5 gebildeten Schwingkreises von ca. 0,5 - 10 MHz beträgt der Frequenzunterschied und damit auch der von der Auswerteeinheit 8 gemessene Zeitunterschied zwischen dem vollkommen unbeeinflussten und dem maximal beeinflussten Zustand einer Spule 4 ca. 20 - 30 %.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt nun der zuvor beschriebene Meßablauf nur einmal zu Beginn des Verfahrens. Ist die Frequenzänderung aller Spulen 4 der Reihe nach gemessen worden, d. h. ist der Umschalter 7 wie zuvor beschrieben einmal von der ersten bis zur letzten Position durchgeschaltet worden, so wird anschließend der Umschalter 7 auf die Position eingestellt, die der Spule 4 entspricht, bei der sich bei dem vorangegangenen Verfahrensschritt das Beeinflussungselement 2 befunden hat. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist diese Position des Umschalter 7 gestrichelt eingezeichnet.

Beträgt die Resonanzfrequenz des unbeeinflussten Schwingkreises 500 kHz und ist am ersten Zähler 10 ein Wert von 5000 eingestellt, so benötigt der er-

ste Zähler 10 bei völlig unbeeinflusster Spule 4 ca. 10 ms zum Erreichen des voreingestellten Wertes. Bei einem induktiven Wegsensor 1 mit insgesamt acht hintereinander angeordneten Spulen 4 werden somit insgesamt ca. 80 ms benötigt, bis alle Spulen 4 abgefragt sind und somit die Position des Beeinflussungselement 2 zu Beginn des Verfahren festgestellt worden ist. Dadurch, daß erfindungsgemäß im weiteren Betrieb nicht mehr die Frequenz aller acht Spulen 4, sondern nur noch die Frequenz der einen – zuvor ausgewählten – Spule 4 gemessen wird, werden für die nächsten Verfahrensschritte nur noch ca. 10 ms – im Unterschied zu ca. 80 ms – zur Messung benötigt. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird somit eine deutliche Verkürzung der benötigten Meßzeit erreicht.

Eine bevorzugte Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens soll abschließend noch anhand der Fig. 2 erläutert werden. Nach dem Start des Meßvorganges findet zunächst ein Eichvorgang statt, bei dem das Beeinflussungselement über die maximale meßbare Länge des induktiven Weggebers bzw. über den maximal meßbaren Winkel des Drehwinkelgebers verfahren wird und die erhaltenen Werte der einzelnen Spulen als Korrektur- bzw. Referenz-Werte gespeichert werden. Dadurch kann jeder einzelnen Spule ein exakter Referenzwert zugewiesen werden, der aufgrund von Fertigungstoleranzen auch bei eigentlich gewollt identischen Spulen für die einzelnen Spulen geringfügig variieren kann.

Nun beginnt der eigentliche Meßvorgang zur Bestimmung der aktuellen Position des Beeinflussungselements. In einem ersten Verfahrensschritt wird hierzu zunächst die erste Spule bzw. der erste Oszillator durch den Umschalter angewählt und die Impedanz dieser Spule bzw. des Schwingkreises gemessen. Anschließend wird entsprechend die Impedanz der zweiten Spule bzw. des zweiten Schwingkreises gemessen. Dieser Vorgang wird nun so oft wiederholt, bis nacheinander alle Spulen durch den Umschalter angewählt und die Impedanz der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise durch die Auswertereinheit gemessen worden ist. Sind insgesamt  $n = 8$  Spulen vorhanden, so wird der zuvor beschriebene Meßvorgang somit acht mal wiederholt. Am Ende dieses ersten Verfahrensschrittes kann durch die Auswertung der unterschiedlichen Impedanzen der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise die aktuelle Position des Beeinflussungselements bestimmt werden.



In einem zweiten Verfahrensschritt wird nun durch den Umschalter diejenige Spule  $x$  angewählt, die in dem ersten Verfahrensschritt als diejenige Spule ermittelt worden ist, der das Beeinflussungselement am nächsten ist. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wäre dies die vierte Spule, d. h.  $x = 4$ . Anschließend wird die Impedanz der Spule  $x$  gemessen und ausgewertet, ob sich der gemessene Wert im Vergleich zum Wert der Impedanz der Spule  $x$  im ersten Verfahrensschritt geändert hat. Ist dies nicht der Fall oder liegt die gemessene Änderung unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes, so bedeutet dies, daß das Beeinflussungselement seine Position nicht verändert hat. In diesem Fall folgt als nächstes kein Anwählen einer anderen Spule, sondern es wird erneut die Impedanz der Spule  $x$  gemessen, d. h. der Umschalter wird nicht weitergeschaltet. Der zweite Meßdurchgang ist damit bereits nach der Messung der Impedanz einer Spule beendet; eine Messung der Impedanzen der übrigen Spulen ist nicht erforderlich.

Ergibt dagegen die Messung der Impedanz der Spule  $x$ , daß sich der Wert der Impedanz im Vergleich zur vorangegangenen Messung verändert hat, so bedeutet dies, daß sich auch die Position des Beeinflussungselements verändert hat. In diesem Fall erfolgt als nächstes das Anwählen der der Spule  $x$  benachbarten Spule  $x + 1$  bzw. der Spule  $x - 1$  sowie die Messung der Impedanz dieser Spule. Die Entscheidung, ob die Spule  $x + 1$  oder die Spule  $x - 1$  angewählt wird, hängt davon ab, ob sich bei der Messung der Spule  $x$  der Wert vergrößert oder verkleinert hat. Da diese Information, Wert vergrößert oder verkleinert, in der Auswerteeinheit vorhanden ist, kann entsprechend die Position des Umschalters gewählt werden. Durch die Messung der Impedanz der Spule  $x$  und der Impedanz der Spule  $x + 1$  oder der Spule  $x - 1$  kann durch die Auswerteeinheit nunmehr die neue Position des Beeinflussungselements bestimmt werden.

In einem nächsten Schritt wird dann wiederum durch Messung der Impedanz der Spule  $x + 1$  oder der Spule  $x - 1$  überprüft, ob sich die Position des Beeinflussungselements erneut verändert hat. Auch hierfür ist es jedoch nicht erforderlich, daß die Impedanz sämtlicher Spulen gemessen wird. Es wird wiederum nur die Impedanz einer einzigen Spule – und gegebenenfalls der benachbarten Spule – gemessen, so daß die jeweilige Meßzeit zur Bestimmung der Position des Beeinflussungselements deutlich reduziert ist. Dadurch steht ein

Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements zur Verfügung, das auch bei einer sehr hohen Meßgenauigkeit eine hohe Ansprechgeschwindigkeit aufweist.

### Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements, mit einem induktiven Positionssensor, mit mehreren linear oder kreisförmig hintereinander angeordneten Spulen, mit einem Kondensator, mit einem Verstärkerelement, mit mindestens einem Umschalter und mit einer Auswerteeinheit, wobei je eine Spule und der Kondensator einen Schwingkreis bilden und der Schwingkreis und das Verstärkerelement einen Oszillator bilden, mit folgenden Schritten
- Anwählen je einer Spule bzw. eines Oszillators durch den Umschalter, indem die einzelnen Spulen nacheinander mit dem Kondensator verbunden werden,
  - Messen der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises durch die Auswerteeinheit in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zu der Spule,
- wobei die vorgenannten Schritte so oft wiederholt werden, bis durch den Umschalter alle Spulen nacheinander angewählt, d. h. nacheinander mit dem Kondensator verbunden worden sind und die Impedanz aller Spulen durch die Auswerteeinheit gemessen worden ist,
- dadurch gekennzeichnet,**
- daß im weiteren Betrieb zunächst nur die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen wird, die zuvor als diejenige Spule ermittelt worden ist, der das Beeinflussungselement am nächsten ist und
- daß erst dann die Impedanz mindestens einer weiteren Spule bzw. eines weiteren Schwingkreises gemessen wird, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der zuvor ermittelten Spule verändert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dann, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der eingangs ermittelten Spule verändert, die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises der räumlich benachbarten Spule gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Spulen adressierbar sind.
- 5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Eichvorgang das Beeinflussungselement über den maximal meßbaren Weg des induktiven Positionssensors verfahren wird und die erhaltenen Werte der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise als Korrektur- bzw. Referenz-Werte gespeichert werden.
- 10 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Frequenz einer jeden Spule bzw. eines jeden Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position eines Beeinflussungselements relativ zu den jeweiligen Spulen mißt.
- 15 6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der induktive Positionssensor einen Zähler aufweist, der einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit der Auswerteeinheit verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler nacheinander die Anzahl der Schwingungen des Oszillators zählt, der gerade durch den Umschalter angewählt ist, und die Auswerteeinheit jeweils die Zeit mißt,  
20 die vergeht, bis der Zähler einen voreingestellten Wert erreicht hat.
- 25 7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der induktive Positionssensor einen Zähler aufweist, der einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit der Auswerteeinheit verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler jeweils während einer vorgegebenen Zeit die Anzahl der Schwingungen des Oszillators zählt, der gerade durch den Umschalter angewählt ist, und die Auswerteeinheit diese Anzahl auswertet.
- 30 8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei der induktive Weggeber einen zweiten Zähler aufweist, der einerseits mit dem ersten Zähler und andererseits mit der Auswerteeinheit und dem Umschalter verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Zähler bei Erreichen des voreingestellten Wertes oder nach Ablauf der vorgegebenen Zeit einen Impuls an den zweiten Zähler abgibt, der zweite Zähler Adressen erzeugt, die bei eins beginnend jeweils um  
35 eins erhöht werden, wenn der zweite Zähler den Impuls vom ersten Zähler er-

hält, und der Umschalter entsprechend der vom zweiten Zähler erzeugten Adresse eine Spule bzw. einen Oszillator anwählt.

5 9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der zweite Zähler mehrere Ausgänge aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Adressen vom zweiten Zähler im Dual-Code erzeugt werden.

10 10. Verfahren nach Anspruch 6 und Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit aus der vom zweiten Zähler erzeugten Adresse zum einen die Information entnimmt, welche Spule bzw. welcher Oszillator gerade durch den Umschalter angewählt ist, zum anderen die Zeitdauer mißt, während der die Adresse anliegt.

15



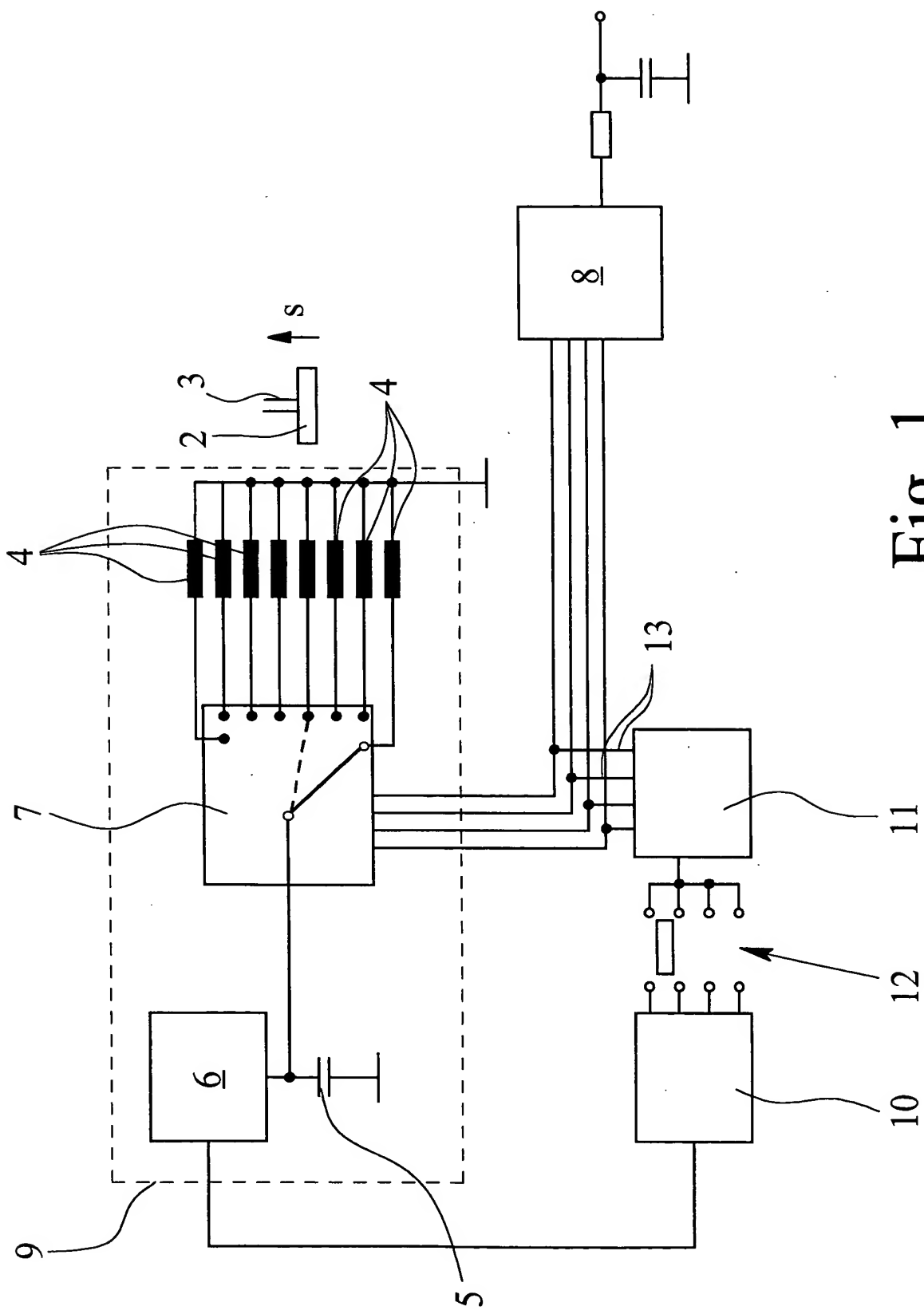


Fig. 1

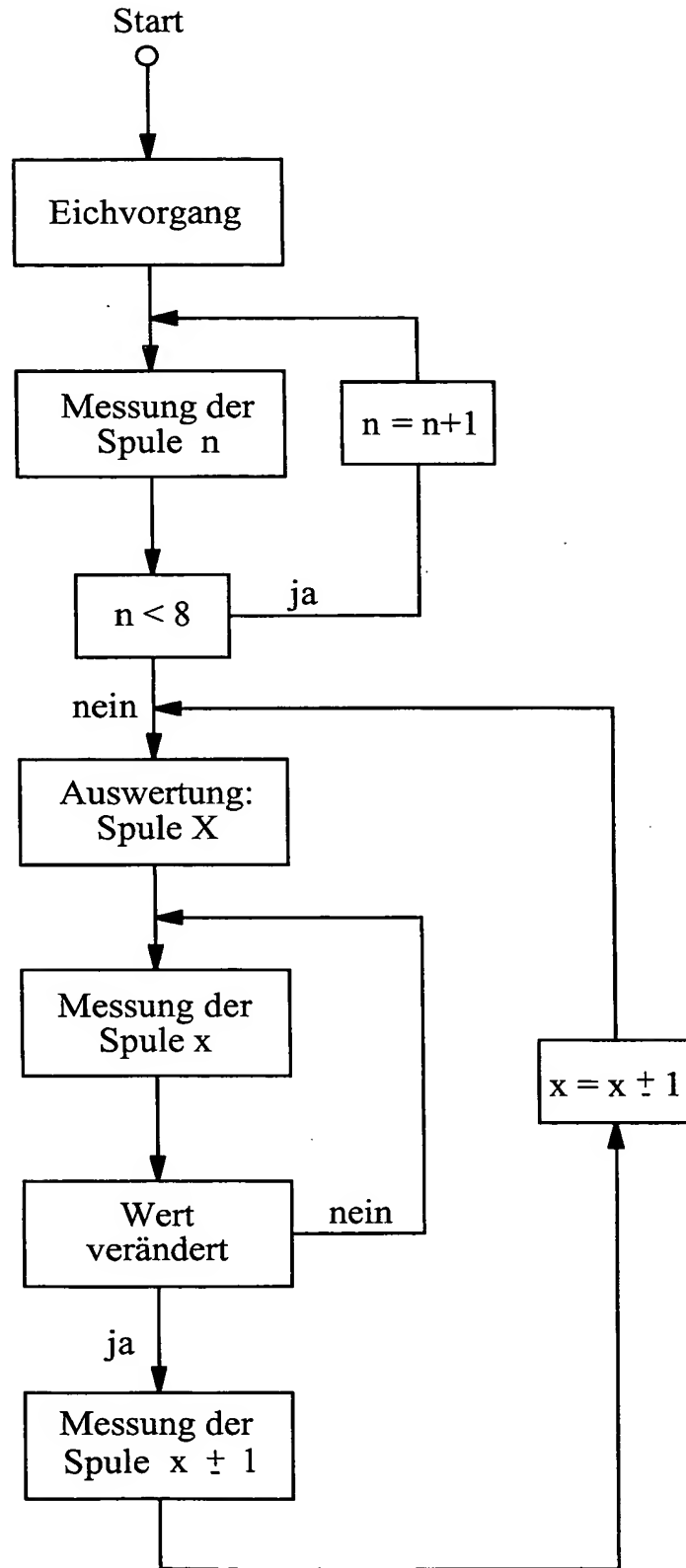


Fig. 2

### **Zusammenfassung:**

Dargestellt und beschrieben ist ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements, mit einem induktiven Positionssensor, mit mehreren hintereinander angeordneten Spulen, mit einem Kondensator, mit einem Verstärkerelement, mit mindestens einem Umschalter und mit einer Auswerteeinheit, wobei je eine Spule und der Kondensator einen Schwingkreis bilden und der Schwingkreis und das Verstärkerelement einen Oszillator bilden, mit folgenden Schritten

10

- Anwählen je einer Spule bzw. eines Oszillators durch den Umschalter, indem die einzelnen Spulen nacheinander mit dem Kondensator verbunden werden,
- Messen der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises durch die Auswerteeinheit in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zu der Spule,

15

20

wobei die vorgenannten Schritte so oft wiederholt werden, bis durch den Umschalter alle Spulen nacheinander angewählt und die Impedanz aller Spulen durch die Auswerteeinheit gemessen worden ist.

25

Im weiteren Betrieb wird zunächst nur die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen, die zuvor als diejenige Spule ermittelt worden ist, der das Beeinflussungselement am nächsten ist und es wird erst dann eine weitere Spule bzw. ein weiterer Schwingkreises gemessen, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der zuvor ermittelten Spule verändert.



